



①⑨ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 20 097 A 1**

⑤ Int. Cl.7:  
**F 01 N 1/08**

⑳ Aktenzeichen: 101 20 097.8  
㉔ Anmeldetag: 25. 4. 2001  
㉕ Offenlegungstag: 7. 11. 2002

**DE 101 20 097 A 1**

㉑ **Anmelder:**  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

㉒ **Erfinder:**  
Docter, Andreas, Dr.-Ing., 89077 Ulm, DE; Kaupert,  
Andreas, Dipl.-Ing. (FH), 89073 Ulm, DE; Krutzsch,  
Bernd, Dr.rer.nat., 73770 Denkendorf, DE; Lamm,  
Arnold, Dr., 89275 Elchingen, DE; Vogel, Bernhard,  
Dipl.-Ing., 70372 Stuttgart, DE; Wieland, Steffen  
Oliver, Dipl.-Ing., 35578 Wetzlar, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Rechercheantrag gem. Paragraph 43 Abs. 1 Satz PatG ist gestellt

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Abgasreinigungsanlage und Verfahren zum Betreiben der Anlage**

⑤① Die Erfindung betrifft eine Abgasreinigungsanlage in einem Fahrzeug, wobei ein Reformierungsreaktor zur Extraktion von Wasserstoff aus Kraftstoff vorgesehen ist und der Wasserstoff einem Abgasstrom einer Brennkraftmaschine stromauf eines Abgaskatalysators zuführbar ist, wobei der Reformierungsreaktor eine Zuführeinrichtung für Sauerstoff und/oder Wasser aufweist, wobei der Reformierungsreaktor mit einem Nebenzweig der Abgasleitung verbunden ist und Sauerstoff und Wasser zur Reformierung in Form eines Abgasteilstroms über den Nebenzweig zuführbar sind.

**DE 101 20 097 A 1**

[0001] Die Erfindung betrifft eine Abgasreinigungsanlage und ein Verfahren zum Betreiben der Anlage gemäß dem Oberbegriff der unabhängigen Ansprüche.

[0002] Aus der US 5,412,946 A1 ist eine Abgasreinigungsanlage für ein Fahrzeug bekannt, bei der Wasserstoff dem Abgasstrom zugeführt wird, um im Abgaskatalysator Stickoxide im Abgas zu reduzieren. Der Wasserstoff wird durch Reformierung z. B. aus dem mitgeführten Kraftstoff gewonnen und zusammen mit Sauerstoff und Wasser der Reformierungseinrichtung zugeführt. Dabei wird der Gehalt an zugeführtem Wasserstoff abhängig von der NOX-Menge im Abgasstrom eingestellt. Wasser zur Reformierung wird aus einem Wassertank bereitgestellt und vor der Reformierung verdampft, während Sauerstoff in Form von Umgebungsluft angesaugt und der Reformierungseinrichtung zugeführt wird.

[0003] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Abgasreinigungsanlage anzugeben, die eine Systemvereinfachung ermöglicht.

[0004] Diese Aufgabe wird bei einer Abgasreinigungsanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und bei einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 12 gelöst.

[0005] Erfindungsgemäß wird zur Reformierung ausschließlich Wasser und Sauerstoff des Abgasstroms verwendet. Auf das Mitführen von zusätzlichen Medientanks und entsprechender Regeleinrichtungen kann verzichtet werden.

[0006] Der Vorteil besteht darin, daß auf einfache Weise im Fahrzeug  $H_2$  und  $CO$  als Reduktionsmittel für die  $NO_x$ -Entfernung der konventionellen Abgasnachbehandlung gewonnen werden kann. Das Mitführen dieser Gase entfällt. Die Einsatzstoffe für das erfindungsgemäße Verfahren stammen aus dem im Fahrzeug verfügbaren Kraftstofftank und dem motorischen Abgas. Es müssen keine zusätzlichen Stoffe an Bord des Fahrzeugs mitgeführt werden. Es sind keine Tanks und Dosiereinrichtungen für zusätzliche Stoffe erforderlich.

[0007] Das bevorzugte elektrische Heizmittel wird nur während der Aufheizphase eingesetzt, später kann der dem Reformier zugeführte Abgasteilstrom regenerativ durch den heißen Produktgasstrom vorgewärmt werden. Das autotherme Verfahren benötigt im stationären Fall keine elektrische Beheizung von außen. So kann elektrische Energie eingespart werden.

[0008] Der Einsatz eines Katalysators auf einer Trägerstruktur ermöglicht minimale Druckverluste, so daß der Druck im Nebenzweig vergleichbar mit dem in der Abgasleitung ist. Die Katalysatormasse selbst ist niedriger und zeigt einen besseren Ausnutzungsgrad als bei der Verwendung üblicher Schüttkatalysatoren. Die eingesparte Katalysatormasse muß nicht aufgeheizt werden.

[0009] Es versteht sich, daß die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0010] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den weiteren Ansprüchen und der Beschreibung hervor.

[0011] Die Erfindung ist nachstehend anhand einer Zeichnung näher beschrieben, wobei die Figuren zeigen:

[0012] Fig. 1 eine Prinzipdarstellung einer bevorzugten Vorrichtung mit verzweigtem Abgasstrom und

[0013] Fig. 2 eine Prinzipdarstellung eines Details des bevorzugten Reformierungsreaktors.

[0014] Fig. 1 zeigt eine Prinzipdarstellung einer Abgasrei-

nigungsanlage gemäß der Erfindung, die vorzugsweise in einem Fahrzeug eingesetzt wird. Details des Fahrzeugs sind nicht dargestellt. Abgas einer Brennkraftmaschine 2, das durch die Verbrennung von der Brennkraftmaschine 2 aus einem Kraftstofftank 9' zugeführten Kraftstoff entsteht, wird über eine Abgasleitung 4 zu einem üblichen Abgaskatalysator 3 geleitet, der bevorzugt mit einem sogenannten DE-NOX-Katalysator ausgestattet ist. Dem Abgasstrom in der Abgasleitung 4 wird Wasserstoff als Reduktionsmittel zugeführt, so daß im Abgaskatalysator 3 Stickoxid zu ungefährlichen Stoffen reduziert werden kann.

[0015] Erfindungsgemäß wird ein Teilstrom des Abgases in einem Nebenzweig 5 der Abgasleitung 4 einem Reformierungsreaktor 1 zugeführt. In dem Reformierungsreaktor 1 wird Wasserstoff aus Kraftstoff extrahiert, welcher über eine Kraftstoffzuführung 9 aus dem Kraftstofftank 9' in den Reaktor geleitet wird. Das Reformat, das Wasserstoff und weitere Reaktionsprodukte wie z. B.  $CO$ ,  $CO_2$  enthält, wird anschließend wieder der Abgasleitung 4 der Brennkraftmaschine 2 stromauf des Abgaskatalysators 3 über eine Leitung 7 zugeführt. Zusätzlich zu der Kraftstoffzuführung 9 wird dem Reformierungsreaktor 1 über eine Zuführeinrichtung 6 Sauerstoff und/oder Wasser zugeführt, um die Reformierungsreaktion ausführen zu können. Gemäß der Erfindung wird der zur Reformierung notwendige Sauerstoff und das notwendige Wasser vom Abgasteilstrom bereitgestellt, der durch den Nebenzweig 5 geleitet wird, d. h. daß die Zuführeinrichtung 6 durch den Nebenzweig 5 des Abgasstroms versorgt wird. Der Vorteil dabei ist, daß keine zusätzlichen Vorrattanks für Edukte wie Wasser oder Kompressoren für Sauerstoff oder Luft mitgeführt werden müssen. Weiterhin ist das zugeführte Wasser im Abgasstrom im wesentlichen Wasserdampf, so daß eine Verdampfungseinrichtung für das zuzuführende Wasser entfällt. Dies bedeutet eine erhebliche Platz- und Gewichtsersparnis sowie Kosteneinsparungen im Fahrzeug. Dabei ist besonders günstig, denselben Kraftstoff zur Reformierung zu verwenden, mit dem die Brennkraftmaschine 2 versorgt wird, etwa Diesel oder Benzin. Auch dies trägt entscheidend zur Systemvereinfachung bei, da zusätzliche Pumpen, eine zusätzliche Regelung für sonst notwendige zusätzlich im Fahrzeug mitgeführten Betriebsstoffe und dergleichen entfallen.

[0016] Besonders günstig ist, Mittel 12, 12' vorzusehen, um das Verhältnis  $\phi$  von Sauerstoff in der Zuführeinrichtung 6 zu Kraftstoff im Reformierungsreaktor 1 einzustellen. Dabei kann sowohl die Kraftstoffmenge als auch die Abgasmenge eingestellt werden, etwa über Ventile und/oder Regler. Besonders günstig ist, einen Massenstromsensor 12' in der Zuleitung 9 des Kraftstoffs in den Reformierungsreaktor 1 vorzusehen, um die Kraftstoffzufuhr zu bestimmen und einstellen zu können und/oder ein Sauerstoffsensor 12 im Nebenzweig 5, um den Sauerstoffgehalt im Abgas zu bestimmen und den Abgasstrom im Nebenzweig entsprechend einzustellen.

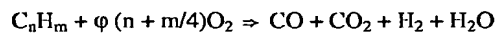
[0017] Das Verhältnis  $\phi$  stellt die sogenannte Luftzahl der Reformierung dar und gibt das Verhältnis der zugeführten Menge an Sauerstoff zur stöchiometrisch benötigten Sauerstoffmenge für die vollständige Oxidation des zu reformierenden Kraftstoffs im Reformierungsreaktor 1 wieder.

[0018] In dem Reformierungsreaktor 1 reagieren die Komponenten  $O_2$  und  $H_2O$  des Teilstroms des Abgases sowie eine im Verhältnis zum  $O_2$ -Gehalt des Abgases stehende, zugeführte Menge an Kraftstoff katalytisch und autotherm miteinander, wobei ausschließlich die im Abgas vorhandene Konzentration von  $O_2$  und  $H_2O$  und die aus dem konventionellen Tank des Fahrzeugs zu entnehmende Menge Kraftstoff genutzt wird.

[0019] Besonders günstig ist es, eine Lambda-Regelung

durchzuführen, um den Kraftstoff abhängig vom Sauerstoffgehalt im Nebenzweig 5 des Abgasstroms 4 in den Reformierungsreaktor 1 zuzudosieren. Bei einer bevorzugten Einstellung der zudosierten Kraftstoffmenge wird ein Teilstrom des Abgases der Abgasleitung 4 über einen Strömungsteiler entnommen. Mittels Volumenstrommessung, z. B. mit einem Hitzdrahtanemometer, und O<sub>2</sub>-Konzentrationsmessungen, etwa mit einer Lambda-Sonde, wird der Volumenstrom an O<sub>2</sub> im Teilstrom 5 ermittelt. Entsprechend einer gewünschten Luftzahl  $\phi$  der autothermen Reformierung wird die Menge an Kraftstoff dem Reformierungsreaktor 1 zugeführt.

[0020] Im Reformierungsreaktor 1 treten nicht nur eine Reformierungsreaktion, sondern auch partielle Oxidationsreaktionen des zugeführten Kraftstoffs mit der Zusammensetzung C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> mit dem im Abgas enthaltenen Sauerstoff auf:



sowie Reformierungsreaktionen mit dem im Abgas enthaltenen H<sub>2</sub>O und dem bei der partiellen Oxidation gebildeten H<sub>2</sub>O



[0021] In der Kombination von Oxidation und Reformierung werden diese Reaktionen üblicherweise autotherme Reformierung genannt.

[0022] Geeignete Reaktionsbedingungen sind etwa eine bevorzugte Luftzahl von  $\phi = 0,25$  bis  $0,35$  und eine Edukttemperatur am Eingang des Reformierungsreaktors 1 von mehr als  $350^\circ\text{C}$ .

[0023] Die Temperaturen des Abgases im Teilstrom im Nebenzweig 5 oder auch im Hauptstrom in der Abgasleitung 4 liegen niedriger als die gewünschte Edukttemperatur für die Reformierung, besonders bei Dieselfahrzeugen und vor allem in der Startphase.

[0024] Vorteilhaft ist daher, wenn der Teilstrom des Abgases durch Abwärme des Reformierungsreaktors 1 beheizt wird. Die Oxidationsreaktion ist stark exotherm, so daß das Gemisch im Reformierungsreaktor 1 stark erwärmt wird, typischerweise auf  $800\text{--}900^\circ\text{C}$ . Damit steht genügend thermische Energie für die endotherme Reformierungsreaktion im Reformierungsreaktor 1 zur Verfügung. Überschüssige thermische Energie kann im System weiter eingesetzt werden. [0025] Die verfügbare thermische Energie der Abwärme des Reformierungsreaktors 1 kann vorteilhaft auch zur Verdampfung des zu reformierende Kraftstoff verwendet werden. Weiterhin ist es günstig, den Reformierungsreaktor 1 thermisch mit der Abgasleitung, etwa einem üblichen Abgaskrümmer, zu koppeln, so daß auch die Abwärme der Abgasleitung genutzt werden kann. Günstig ist auch, den Abgasteilstrom im Nebenzweig 5 vorzuheizen, indem dieser durch einen Wärmetauscher 8 geleitet wird, der durch den heißen Produktstrom beheizt wird, der aus dem Reformierungsreaktor 1 austritt. Dazu ist der Wärmetauscher 8 in der Leitung 7 angeordnet, die die Reaktionsprodukte zurück in die Abgasleitung 4 führt.

[0026] In Fig. 2 ist eine bevorzugte Ausführung des Reformierungsreaktors 1 schematisch dargestellt. In dem Reformierungsreaktor 1 sind Heizmittel 10 zur Erwärmung des Reformierungsreaktors 1 während der Startphase und ein Katalysator 11 vorgesehen. Der Katalysator 11 ist vorzugsweise auf einer Trägerstruktur angeordnet, welche nur einen geringen Druckverlust verursacht. Die Heizmittel 10 sind vorzugsweise stromauf des Katalysators 11 angeordnet. Durch die Trägerstruktur des Katalysators 11 ist der Druckverlust im Reformierungsreaktor niedrig, so daß der Druck

im Nebenzweig 5 des Abgasstroms ebenfalls niedrig ist. Daher kann der Abgasteilstrom einfach aus der Abgasleitung 4 abgezweigt werden und muß nicht aktiv gegen eine Druckdifferenz gefördert werden. Vorzugsweise ist die Katalysatorschicht auf der Trägerstruktur des Katalysators 11 nur wenige Mikrometer dick. Das bringt bei hohen Temperaturen um  $800^\circ\text{C}$ , wie sie zur Kohlenwasserstoffreformierung angewandt werden, gegenüber Schüttkatalysatoren üblicher Größe den Vorteil, daß keine Porendiffusionshemmung auftritt und der eingesetzte Katalysator 11 nahezu vollständig genutzt wird. Typische Schüttkatalysatoren bestehen aus Kugeln geträgerten Katalysatormaterials, die Durchmesser im Millimeterbereich aufweisen. Damit entfällt ein Aufheizen einer nicht benötigten Katalysatormasse, ebenso wird Gewicht eingespart.

[0027] Die Heizmittel 10 können elektrische Heizmittel sein, etwa eine Glühkerze oder eine Glühwendel oder ein sonstiger Heizwiderstand. Günstig ist, die elektrischen Heizmittel 10 stromauf vor oder in der eigentlichen Katalysatorstruktur 11 vorzusehen. Zweckmäßigerweise wird der Reformierungsreaktor 1 nur in der Aufheizphase elektrisch beheizt. Später kann der dem Reformierungsreaktor 1 zugeführte Abgasteilstrom regenerativ durch den heißen Produktgasstrom am Ausgang des Reformierungsreaktors 1 vorgewärmt werden. Das verwendete autotherme Reformierungsverfahren benötigt im stationären Fall keine zusätzliche Beheizung von außen. So kann Energie etwa gegenüber einem endothermen Dampfreformierungsverfahren eingespart werden.

[0028] Durch die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren kann auf einfache Weise im Fahrzeug H<sub>2</sub> und CO als Reduktionsmittel für die NO<sub>x</sub>-Entfernung der konventionellen Abgasnachbehandlung gewonnen werden. Das Mitführen dieser Stoffe als zusätzliche Betriebsmittel entfällt. Die Einsatzstoffe für das beschriebene Verfahren stammen vielmehr aus dem im Fahrzeug verfügbaren Kraftstofftank (flüssiger Kohlenwasserstoff) und dem motorischen Abgas. Daher sind keine zusätzlichen Tanks und Dosiereinrichtungen notwendig.

#### Patentansprüche

1. Abgasreinigungsanlage in einem Fahrzeug, wobei ein Reformierungsreaktor (1) zur Extraktion von Wasserstoff aus Kraftstoff vorgesehen ist und der Wasserstoff einem Abgasstrom einer Abgasleitung (4) einer Brennkraftmaschine (2) stromauf eines Abgaskatalysators (3) zuführbar ist, wobei der Reformierungsreaktor (1) eine Zuführeinrichtung (6) für Sauerstoff und/oder Wasser aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Reformierungsreaktor (1) mit einem Nebenzweig (5) der Abgasleitung (4) verbunden ist und Sauerstoff und Wasser zur Reformierung in Form eines Abgasteilstroms über den Nebenzweig (5) zuführbar sind.
2. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Reformierungsreaktor (1) Mittel (12, 12') zugeordnet sind, um das Verhältnis ( $\phi$ ) von Sauerstoff zu Kraftstoff im Reformierungsreaktor (1) einzustellen.
3. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß Kraftstoff abhängig vom Sauerstoffgehalt des Abgasstroms im Nebenzweig (5) der Abgasleitung (4) in den Reformierungsreaktor (1) zudosierbar ist.
4. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß im Nebenzweig (5) ein Sauerstoffsensor (12) vorgesehen ist.
5. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 1, dadurch

gekennzeichnet, daß in einer Zuführleitung (9) für Kraftstoff in den Reformierungsreaktor (1) ein Massenstromsensor (12') vorgesehen ist.

6. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß in einer Zuführleitung (9) und/oder im Nebenzweig (5) Ventile und/oder Regler zur Einstellung der dem Reformierungsreaktor (1) zugeführten Kraftstoffmenge und/oder des Abgasstroms im Nebenzweig (5) vorgesehen sind.

7. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Heizmittel (10) zur Erwärmung des Reformierungsreaktors (1) vorgesehen sind.

8. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizmittel (10) elektrische Heizmittel sind.

9. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Reformierungsreaktor (1) thermisch mit der Abgasleitung (4) und/oder einem Abgaskrümmern gekoppelt ist.

10. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Reformierungsreaktor (1) einen Katalysator (11) mit druckverlustarmer Trägerstruktur aufweist.

11. Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck im Nebenzweig (5) höchstens gleich dem Druck in der Abgasleitung (4) ist.

12. Verfahren zum Betreiben einer Abgasreinigungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Reformierungsreaktor (1) ein Teilstrom aus dem Abgasstrom in der Abgasleitung (4) zugeführt wird und die Reformierung des Kraftstoffs mit dem Sauerstoffgehalt und/oder Wassergehalt im Teilstrom des Abgases durchgeführt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Reformierungsreaktor (1) zugeführte Kraftstoffmenge abhängig vom Sauerstoffgehalt im Teilstrom eingestellt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Abgasteilstrom im Nebenzweig (5) durch Abwärme des Reformierungsreaktors (1) beheizt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12–14, dadurch gekennzeichnet, daß der zu reformierende Kraftstoff durch Abwärme des Reformierungsreaktors (1) verdampft wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12–15, dadurch gekennzeichnet, daß der Reformierungsreaktor (1) in einer Kaltstartphase elektrisch beheizt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 12–16, dadurch gekennzeichnet, daß der Reformierungsreaktor (1) durch einen Abgaskrümmern beheizt wird.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

55

60

65

- Leerseite -

